

MODEL HUBUNGAN VOLUME LALULINTAS HARIAN DENGAN KECELAKAAN LALULINTAS DI JALAN TOL ANTAR-KOTA

Bambang Haryadi

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran, Gunungpati, Semarang
Telp.: (024)8508102
Fax: (024)8508102
haryaba@yahoo.com

Bambang Riyanto

Program Doktor Teknik Sipil
Universitas Diponegoro
Jl. Hayam Wuruk No. 5 Semarang
Telp.: (024)8311946
Fax: (024) 8311802
bb-riyanto@yahoo.com

Mustafid

Program Studi Statistika
FMIPA Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Semarang
Telp. (024) 747 4754
Fax. (024) 764 80 690
Mustafid_prof@yahoo.com

Agung Budiwirawan

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Negeri Semarang
Kampus Unnes Sekaran, Gunungpati, Semarang
Telp.: (024)8508102
Fax: (024)8508102
aang94@gmail.com

Abstract

Safety is one of the minimum criteria that should be met on the toll road operation. Ideally, the level of safety of highway sections can be predicted even if the highway is still on the design stage. This paper aims to develop mathematical models that could be used to predict the number of accidents, by its level of severity, on inter urban toll road sections based on its average daily traffic per lane and section length. Two year period of traffic and accident data were obtained from Jagorawi, Jakarta-Cikampek, Padaleunyi, and Palikanci toll road operators. Models were developed using the negative binomial regression method. The results show that the negative binomial regression gives desirable properties in describing the relationship between the accident frequency and the average daily traffic per lane on each toll road section observed.

Keywords: toll road safety, accident model, negative binomial regression.

Abstrak

Keselamatan adalah salah satu kriteria minimum yang harus dipenuhi pada operasi jalan tol. Idealnya, tingkat keselamatan suatu ruas jalan dapat diprediksi bahkan pada saat jalan tersebut masih berada pada tahap desain. Sudi ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika yang dapat digunakan untuk memprediksi jumlah kecelakaan, dengan tingkat keparahannya, pada ruas-ruas jalan tol antar-kota berdasarkan lalulintas harian rata-rata per lajur di setiap ruas jalan yang diamati. Data lalulintas dan kecelakaan selama periode dua tahun diperoleh dari operator-operator jalan tol Jagorawi, Jakarta-Cikampek, Padaleunyi, dan Palikanci. Model yang dikembangkan dengan menggunakan metode regresi binomial negatif. Hasil studi ini menunjukkan bahwa regresi binomial negatif dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan antara frekuensi kecelakaan dengan lalulintas harian rata-rata per lajur di setiap ruas jalan tol yang diamati.

Kata kunci: keselamatan jalan tol, model kecelakaan, regresi binomial negatif

PENDAHULUAN

Tingkat kecelakaan menyatakan hubungan antara faktor-faktor dominan yang mempengaruhi kecelakaan. Dengan menggunakan nilai tingkat kecelakaan dimungkinkan untuk melakukan perbandingan tingkat keselamatan di berbagai ruas jalan yang berbeda. Hal ini dilakukan dengan cara menormalisasi jumlah kecelakaan yang terjadi di suatu ruas jalan terhadap waktu, panjang ruas, dan volume lalu lintas. Sebagai contoh, apabila suatu ruas jalan mempunyai banyak kecelakaan dan sekaligus mempunyai volume lalu lintas yang besar, ruas tersebut bisa mempunyai angka kecelakaan yang kecil dan karena itu dapat dikategorikan lebih aman dibandingkan dengan ruas jalan lain dengan jumlah kecelakaan yang lebih sedikit tetapi dengan volume lalu lintas yang lebih rendah. Tingkat kecelakaan biasanya dinyatakan sebagai perbandingan antara jumlah kecelakaan dibagi dengan jumlah panjang perjalanan atau *vehicle-km traveled* (VKT).

Kekurangan pendekatan ini adalah asumsi adanya hubungan linier antara jumlah kecelakaan dengan VKT. Pada kenyataannya terdapat bukti bahwa hubungan tersebut tidak linier, dan asumsi linieritas melemahkan akurasi prediksi kecelakaan (Qin, et al., 2005). Sebagai alternatif, perlu eksplorasi bentuk hubungan antara jumlah kecelakaan dengan jumlah dan panjang perjalanan dengan menggunakan data aktual tanpa diasumsikan secara apriori adanya hubungan linier antara jumlah kecelakaan dengan paparan perjalanan (*exposure*). Pada studi ini dikaji model hubungan antara jumlah kejadian kecelakaan pada ruas jalan tol antar-kota dengan volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) per lajur dan panjang ruas jalan.

Proses permodelan untuk pengembangan model prediksi kecelakaan dapat dibagi menjadi 5 kegiatan utama (Miaou et al., 1996), yaitu: (1) menemukan fungsi probabilitas yang baik untuk mendeskripsikan variasi acak, (2) menentukan bentuk fungsi dan parameter yang tepat untuk mendeskripsikan pengaruh variabel, (3) memilih variabel yang benar, (4) menentukan estimasi parameter regresi, dan (5) menilai kualitas model, cara-cara untuk memperbaikinya, dan untuk menjamin bahwa model cocok dengan spesifikasi yang dipersyaratkan. Sedangkan menurut Hauer (2004), elemen sentral permodelan statistik keselamatan adalah persamaan model, asumsi distribusional, dan kriteria optimasi. Persamaan model adalah persamaan yang digunakan untuk memperkirakan jumlah kecelakaan jenis tertentu yang bisa diharapkan terjadi per satuan waktu pada suatu ruas jalan sebagai suatu fungsi ciri-cirinya (misalnya tingkat paparan lalu lintas). Asumsi distribusional merupakan asumsi yang dibuat berkenaan dengan distribusi probabilitas jumlah kecelakaan yang tercatat di sekitar *mean* yang direpresentasikan oleh persamaan model. Kriteria optimisasi yang paling umum adalah minimalisasi residual atau maksimalisasi fungsi kemungkinan. Optimisasi ini memfasilitasi estimasi parameter-parameter yang tidak diketahui pada persamaan model. Diperlukan suatu tingkat keyakinan bahwa model yang ditaksir benar-benar cocok dengan data untuk rentang setiap variabel.

Berkenaan dengan perpektif permodelan kecelakaan lalu lintas, sudah banyak diterapkan permodelan statistik frekuensi kecelakaan. Jovanis dan Chang (1986), serta Miaou dan Lum (1993) menunjukkan bahwa model regresi linier konvensional tidak tepat, dan uji statistik dari model-model tersebut seringkali keliru. Mereka menyimpulkan bahwa distribusi Poisson dan distribusi binomial negatif merupakan distribusi yang lebih tepat untuk permodelan kecelakaan. Ketidakcukupan model regresi linier dalam mengungkap hubungan antara kecelakaan kendaraan dan karakteristik jalan raya mengarah pada aplikasi

model Poisson dan binomial negatif (Shankar et al., 1995; Poch dan Mannering, 1996; Milton dan Mannering, 1998).

Shankar et al. (1995) menggunakan distribusi Poisson dan distribusi binomial negatif untuk mengeksplorasi frekuensi kecelakaan jalan bebas hambatan antar-kota berdasarkan informasi faktor geometri jalan dan lingkungan yang terkait cuaca. Mereka membuat model regresi spesifik terpisah menurut tipe kecelakaan selain model untuk frekuensi kecelakaan keseluruhan. Poch dan Mannering (1996) menunjukkan bahwa distribusi binomial negatif, yang diaplikasikan pada kecelakaan di pendekat simpang, merupakan distribusi yang tepat untuk mengisolasi elemen-elemen lalu lintas dan geometri yang mempengaruhi frekuensi kecelakaan. Milton dan Mannering (1998) juga menggunakan model distribusi binomial negatif sebagai alat prediktif untuk mengevaluasi hubungan antara geometri jalan, elemen yang berhubungan dengan lalu lintas, dan frekuensi kecelakaan kendaraan bermotor.

DATA

Data penelitian diambil dari empat lokasi jalan tol antar-kota, yaitu Jalan Tol Jagorawi, Jalan Tol Jakarta - Cikampek, Jalan Tol Padaleunyi, dan dan Jalan Tol Palikanci. Data yang digunakan pada penelitian meliputi data ruas jalan, data lalu lintas, dan data kecelakaan. Data volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan data kecelakaan selama periode dua tahun dikumpulkan dari pengelola masing-masing jalan tol tersebut, yaitu PT Jasamarga cabang yang bersangkutan. Secara keseluruhan, dari ketiga jalan tersebut, ada 64 ruas jalan yang masing-masing relatif homogen sepanjang ruas, baik dalam aspek lalu lintas maupun aspek karakteristik geometri jalan.

Pengertian ruas jalan pada penelitian ini adalah bagian jalan tol yang dibatasi oleh *entrance* dan *exit*. Tabel 1 menyajikan rekapitulasi statistik data penelitian yang mencakup panjang ruas, LHR per lajur, dan jumlah kecelakaan menurut kategorinya. Jumlah kecelakaan data yang disajikan pada Tabel 1 adalah untuk periode dua tahun.

Tabel 1 Rekapitulasi Statistik Data Penelitian

	Min.	Kuartil-1	Median	Mean	Kuartil-3	Maks.
LHR per lajur	3267	11190	16570	16180	20210	45940
Panjang ruas (km)	1,2	3,6	5,5	6,0	7,2	14,8
Frekuensi kecelakaan total	8	23	42	57,63	93	184
Frekuensi kecelakaan fatal	0	1	2	3.10	5	12
Frekuensi kecelakaan berat	1	4	8	11.6	16,5	44
Frekuensi kecelakaan ringan	2	9,5	14	15,97	21	48
Frek. kecelakaan rusak materi	1	8	14	26,97	46	101

Analisis Frekuensi Kecelakaan

Kecelakaan merupakan kejadian yang bersifat diskrit, non-negatif, random dan langka. Oleh karena itu, sesuai dengan sifat kejadian kecelakaan tersebut, secara logis distribusi Poisson merupakan pilihan pertama untuk memodelkan frekuensi kecelakaan

pada suatu ruas jalan. Untuk menunjukkan aplikasi distribusi Poisson pada analisis frekuensi kecelakaan, diamati sejumlah i ruas jalan. Jika n_{ij} , suatu variabel random, jumlah kecelakaan selama periode tertentu, j adalah sebagai berikut:

$$P(N_{ij} = n_{ij}) = P(n_{ij}) = \frac{\exp(-\lambda_{ij}) \lambda_{ij}^{n_{ij}}}{n_{ij}!} \quad (1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} P(n_{ij}) & \text{ adalah probabilitas kecelakaan yang terjadi pada ruas} \\ & \text{jalan } i \text{ dalam periode waktu } j, \text{ dan} \\ \lambda_{ij} & \text{ adalah nilai harapan } n_{ij}, \\ E(n_{ij}) & = \lambda_{ij} = \exp(\beta X_{ij}) \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk suatu ruas jalan i dalam periode waktu j , β adalah suatu vektor koefisien regresi yang tidak diketahui dan dapat ditaksir dengan metode kemungkinan maksimum standar (Greene, 2000). Pada analisis ini, X_{ij} mendeskripsikan karakteristik ruas jalan i pada periode waktu j . Satu batasan penting pada distribusi Poisson adalah bahwa varian dan rerata harus kurang lebih sama. Kemungkinan overdispersi (varian lebih besar dari rerata) selalu menjadi perhatian dalam pemodelan frekuensi kecelakaan dan bisa berakibat pada estimasi koefisien yang bias dan tidak efisien. Uji yang berbasis regresi sederhana oleh Cameron dan Trivedi (1986, 1990) dapat dilakukan untuk mendeteksi overdispersi dalam proses signifikansi koefisien overdispersi. Uji berbasis regresi ini melibatkan regresi kuadrat terkecil sederhana untuk menguji signifikansi koefisien overdispersi.

Untuk mengurangi batasan overdispersi yang berlaku dalam model Poisson, pada umumnya digunakan distribusi binomial negatif dengan faktor kesalahan yang berdistribusi Gamma (Miaou, 1994; Shankar *et al.*, 1995, Milton dan Mannering, 1998). Model binomial negatif diturunkan dengan menuliskan kembali persamaan (2) sedemikian rupa sehingga:

$$\lambda_{ij} = \exp(\beta X_{ij} + \varepsilon_{ij}) \quad (3)$$

dengan:

$$\exp(\varepsilon_{ij}) = \text{faktor kesalahan berdistribusi Gamma.}$$

Tambahan ini memungkinkan varian melebihi rerata sebagai berikut:

$$\text{Var}[n_{ij}] = E[n_{ij}][1 + \alpha E[n_{ij}]] = E[n_{ij}] + \alpha E[n_{ij}]^2 \quad (4)$$

Model distribusi Poisson dianggap sebagai model khusus dari model distribusi binomial negatif dengan α mendekati nol, yang berarti bahwa pilihan antara kedua model ini tergantung pada nilai α . Distribusi binomial negatif mempunyai formulasi sebagai berikut:

$$P(n_{ij}) = \frac{\Gamma((1/\alpha) + n_{ij})}{\Gamma(1/\alpha) n_{ij}!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}} \right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_{ij}}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}} \right)^{n_{ij}} \quad (5)$$

Permodelan Frekuensi Kecelakaan

Pada Tabel 2 disajikan hasil permodelan binomial negatif frekuensi kecelakaan total, berupa nilai koefisien tiap variable, dan kesalahan standarnya, serta rangkuman statistiknya. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa koefisien variabel LHR (dalam bentuk logaritma volume lalu lintas harian rata-rata per lajur) dan logaritma panjang ruas bertanda positif dan besarnya tidak sama dengan satu. Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya frekuensi kecelakaan total meningkat apabila nilai LHR per lajur meningkat dan ruas jalan semakin panjang, tetapi hubungan antara kenaikan frekuensi kecelakaan dengan membesarnya nilai LHR per lajur dan panjang ruas tidak linier.

Untuk menguji *goodness of fit* (kecocokan) model secara keseluruhan digunakan nilai *deviance* $2(LL(\beta) - LL(0))$ yang mengikuti distribusi χ^2 . Uji chi-kuadrat nilai *deviance* (64,86, dan derajat kebebasan $df = 2$), menolak hipotesis nol bahwa model yang dihasilkan mempunyai *explanatory power* sama dengan model yang hanya mengandung konstanta saja. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa model yang dihasilkan secara keseluruhan menunjukkan kecocokan statistika yang bagus. Nilai rasio *log-likelihood*, ρ^2 , model merupakan indikasi variasi tambahan dalam frekuensi kecelakaan yang dijelaskan oleh model dibandingkan dengan model yang hanya mengandung konstanta saja (Abdel-Aty dan Radwan, 2000).

Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai model ρ^2 relatif rendah (0,12), yang merupakan hal umum untuk estimasi kecelakaan, karena ada banyak variabel lain (faktor manusia, jalan, lingkungan, kendaraan, dan lain-lain) yang tidak diperhitungkan (Jovanis dan Chang, 1986; Poch dan Mannering, 1996; Abdel-Aty dan Radwan, 2000; Tjahjono, 2007).

Tabel 2 Model Binomial Negatif Frekuensi Kecelakaan Total

Variabel	Koefisien	Std. Error
Konstanta	-5,306	1,161
Log LHR per lajur	0,770	0,115
Log panjang ruas (km)	1,092	0,122
Jumlah ruas	64	
<i>Log-likelihood full-model</i>	-280,88	
<i>Log-likelihood null-model</i>	-313,31	
$\rho^2 = 1 - LL(\beta)/LL(0)$	0,12	
$2(LL(\beta) - LL(0))$	64,86	

Permodelan Frekuensi Kecelakaan Menurut Kategori Keparahan

Tabel 3 menyajikan hasil permodelan frekuensi kecelakaan menurut kategori keparahan. Ada empat model binomial negatif terpisah untuk tiap kategori tingkat keparahan kecelakaan, yaitu: kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan, dan kecelakaan yang berakibat pada kerusakan material saja (*Property Damage Only*, PDO). Dua variabel paparan lalu lintas yang digunakan dalam model, yaitu log LHR per lajur dan log panjang ruas mempunyai tanda positif dan signifikan pada keempat model frekuensi

kecelakaan menurut tingkat keparahan tersebut. Artinya, kenaikan LHR per lajur mempunyai pengaruh positif terhadap pertambahan frekuensi kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan, dan kerusakan materi. Demikian juga pengaruhnya untuk panjang ruas jalan, dengan semakin panjang ruas jalan, semakin besar pula frekuensi kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan atau rusak materi pada ruas jalan tersebut.

Nilai *deviance* $2(LL(\beta)-LL(0))$ untuk model kecelakaan fatal (34, $df=2$), kecelakaan berat (51, $df=2$), kecelakaan ringan (58, $df=2$), dan kecelakaan rusak materi (52, $df=2$) yang mengikuti distribusi χ^2 signifikan pada rentang kepercayaan 95%. Oleh karena itu keempat model frekuensi kecelakaan menurut tingkat keparahan tersebut memperlihatkan kecocokan statistika yang baik. Selanjutnya, ditinjau dari aspek indeks rasio kecocokan (*likelihood ratio index*), nilai masing-masing, model kecelakaan fatal ($\rho^2 = 0,14$), model kecelakaan berat ($\rho^2 = 0,13$), dan model kecelakaan ringan ($\rho^2 = 0,15$) lebih tinggi dibandingkan dengan model frekuensi kecelakaan secara keseluruhan. Model untuk kategori kecelakaan rusak materi saja mempunyai indeks rasio kecocokan yang lebih rendah ($\rho^2 = 0,11$) dibandingkan dengan model frekuensi kecelakaan total. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa kemampuan prediksi frekuensi kecelakaan meningkat apabila estimasi dilakukan menurut kategori tingkat keparahan kecelakaan.

PEMBAHASAN

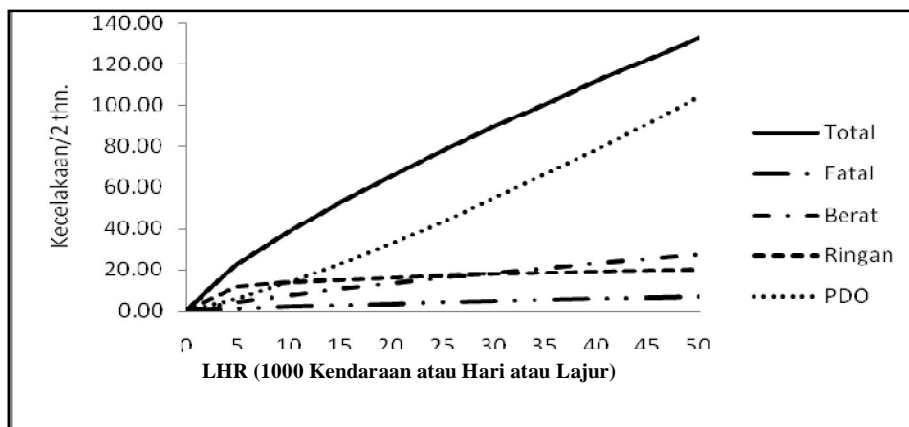
Model binomial negatif dikembangkan untuk menaksir frekuensi kecelakaan total, kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan, dan rusak materi saja. Data ruas jalan, kecelakaan, dan volume lalu lintas dikumpulkan dari PT Jasamarga (Pesero) untuk Cabang-cabang Jagorawi, Jakarta-Cikampek, Purbaleunyi, dan Palikanci. Hasilnya menunjukkan bahwa LHR per lajur dan panjang ruas jalan merupakan variabel yang berpengaruh dan secara statistik signifikan dalam frekuensi kecelakaan lalu lintas di ruas jalan tol antar-kota. LHR per lajur mempunyai pengaruh positif terhadap frekuensi pada semua kategori kecelakaan. Frekuensi kecelakaan meningkat seiring dengan meningkatnya LHR per lajur, tetapi tidak secara linier. Demikian juga dengan pengaruh panjang ruas, dengan semakin panjang ruas jalan, semakin besar kemungkinan terjadinya kecelakaan pada ruas tersebut. Sama seperti pengaruh LHR per lajur, hubungan antara frekuensi kecelakaan dengan panjang ruas tidak linier. Pada Gambar 1 diperlihatkan taksiran frekuensi kecelakaan total, kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan dan rusak materi saja sebagai pengaruh dari LHR per lajur berdasarkan panjang ruas jalan 5.5 km, yang merupakan nilai median panjang ruas jalan yang diamati dengan sampel.

Untuk mengkaji pengaruh relatif variabel dalam model, pada Tabel 5 disajikan elastisitas rata-rata variabel LHR per lajur dan panjang ruas. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam suatu kategori kecelakaan tertentu, LHR per lajur dan panjang ruas mempunyai pengaruh relatif yang berbeda terhadap frekuensi kecelakaan. Pada umumnya panjang ruas mempunyai pengaruh relatif pada frekuensi kecelakaan yang lebih besar dibandingkan LHR per lajur. Untuk kecelakaan total, LHR per lajur mempunyai pengaruh relatif 0,77 pada frekuensi kecelakaan, yang artinya bahwa suatu kenaikan LHR per lajur sebesar 1 satuan akan menyebabkan kenaikan frekuensi kecelakaan sebesar 0,77 satuan untuk panjang ruas yang sama. Pengaruh relatif panjang ruas pada frekuensi kecelakaan total adalah 1,09. Hal ini berarti bahwa suatu kenaikan panjang ruas sebesar 1 satuan akan berakibat pada kenaikan frekuensi kecelakaan total sebesar 1,09 satuan.

Tabel 3 Model Binomial Negatif Frekuensi Kecelakaan Menurut Tingkat Keparahannya

Variabel	Kecelakaan fatal		Kecelakaan berat	
	Koefisien	Std. Error	Koefisien	Std. Error
Konstanta	-8,545	2,019	-7,311	1,473
Log LHR per lajur	0,768	0,195	0,797	0,143
Log panjang ruas (km)	1,2768	0,212	1,173	0,156
Jumlah ruas	64		64	
<i>Log-likelihood full-model</i>	-125,34		-191,14	
<i>Log-likelihood null-model</i>	-142,56		-216,86	
$\rho^2=1-LL(\beta)/LL(0)$	0,14		0,13	
$2(LL(\beta)-LL(0))$	34,448		51,436	

	Kecelakaan ringan		Kecelakaan rusak materi	
	Koefisien	Std. Error	Koefisien	Std. Error
Konstanta	-1,407	0,982	-10,791	1,729
Log LHR per lajur	0,247	0,096	1,266	0,170
Log panjang ruas (km)	1,029	0,108	1,020	0,178
Jumlah ruas	64		64	
<i>Log-likelihood full-model</i>	-197,37		-245,52	
<i>Log-likelihood null-model</i>	-226,49		-271,5	
$\rho^2=1-LL(\beta)/LL(0)$	0,15		0,11	
$2(LL(\beta)-LL(0))$	58,233		51,961	

**Gambar 1** Taksiran Frekuensi Kecelakaan Berbagai Kategori Kecelakaan Sebagai Pengaruh LHR Per Lajur Berdasarkan Panjang Ruas Jalan 5,5 km.

Selain itu, pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa LHR per lajur mempunyai pengaruh relatif yang berbeda pada frekuensi kecelakaan pada berbagai kategori tingkat keparahan. Pengaruh relative terbesar pada frekuensi kecelakaan rusak materi (1,27), dan secara umum pengaruh relatif lebih kecil pada frekuensi kecelakaan berat (0,80) dan kecelakaan

fatal (0,77). Panjang ruas juga mempunyai pengaruh relatif yang berbeda pada frekuensi kecelakaan pada berbagai kategori tingkat keparahan, dengan pengaruh relatif paling besar pada kecelakaan fatal (1,28). Pengaruh relatif mengecil pada frekuensi kecelakaan berat (1,17), kecelakaan ringan (1,03), dan paling kecil pada frekuensi kecelakaan rusak materi (1,02).

Tabel 5 Taksiran Elastisitas untuk Model Frekuensi Kecelakaan Total, Kecelakaan Fatal, Kecelakaan Berat, Kecelakaan Ringan, dan Rusak Materi Saja

	Total	Fatal	Berat	Ringan	Rusak materi
LHR per lajur	0,77	0,77	0,80	0,25	1,27
Panjang ruas (km)	1,09	1,28	1,17	1,03	1,02

KESIMPULAN

Distribusi binomial negatif yang digunakan untuk mengembangkan model hubungan frekuensi kecelakaan dengan volume lalu lintas harian menghasilkan model yang secara keseluruhan menunjukkan kecocokan statistika yang bagus. Model regresi dengan menggunakan distribusi Binomial Negatif paling baik merepresentasikan kejadian kecelakaan dengan gejala *overdispersi* pada data frekuensi kecelakaan.

Dari penelitian ini diperoleh temuan bahwa paparan lalu lintas berupa LHR per lajur dan panjang ruas jalan merupakan variabel yang signifikan untuk prediksi frekuensi kecelakaan lalu lintas di jalan tol antar-kota. Kenaikan LHR per lajur mempunyai pengaruh positif terhadap pertambahan frekuensi kecelakaan total, kecelakaan fatal, kecelakaan berat, kecelakaan ringan, dan kerusakan materi. Panjang ruas jalan juga mempunyai pengaruh positif terhadap frekuensi semua kategori kecelakaan, dengan semakin panjang ruas jalan, semakin besar pula frekuensi kecelakaan pada ruas jalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aty, M. dan Radwan, A. E. 2000. *Modelling Traffic Accident Occurrence and Involvement*. Accident Analysis and Prevention, 32: 633-642.
- Cameron, A. C. dan Trivedi, P. K. 1986. *Econometric Models Based on Count Data: Comparison and Application of Some Estimators and Test*. Journal of Applied Econometric, 1: 29-53.
- Cameron, A. C. dan Trivedi, P. K. 1990. *Regression-Based Tests For Overdispersion In The Poisson Model*. Journal of Econometric, 46: 347-364.
- Fridstrom, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen, L. 1995. *Measuring The Contribution Of Randomness, Exposure, Weather, and Daylight to The Variation in Road Accident Counts*. Accident Analysis and Prevention, 27(1): 1-20.
- Greene, William H. 2000. *Econometric Analysis*, 4th ed. Englewood Cliffs. NJ: Prentice Hall.

- Hauer, E. 2004. *Statistical Road Safety Modeling*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1897: 81-87.
- Jovanis, P. P. dan Chang, H.L. 1986. *Modelling the relationship of accidents to miles travelled*. *Transportation Research Record*, 1068: 42-51.
- Miaou, S. P. dan Lum, H. 1993. *Modeling Vehicle Accident and Highway Geometric Design Relationship*, *Accident Analysis and Prevention*, 25 (6): 689-709.
- Miaou, S. P. 1994. *The Relationship Between Truck Accident and Geometric Design of Road Section: Poisson Versus Negative Binomial Regressions*, *Accident Analysis and Prevention*, 26 (4): 471-482.
- Miaou, S., Lu, A., dan Lum, H. S. 1996. *Pitfalls of Using R^2 to Evaluate Goodness of Fit of Accident Prediction Models*. *Highway Research Records* 1542. Highway Research Board, Washington, DC.
- Milton, J. dan Mannering, F. 1998. *The Relationship Among Highway Geometrics, Traffic Related Elements And Motor-Vehicle Accident Frequencies*. *Transportation*, 25: 395-413.
- Poch, M. dan Mannering, F. 1996. *Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies*. *Journal of Transportation Engineering*, 122 (2): 105-113.
- Qin, X., J. N. Ivan, N. Ravishanker, and J. Liu, 2005. *Hierarchical Bayesian Estimation of Safety Performance Functions for Two-lane Highway Using Markov Chain Monte Carlo Modeling*. *Journal of Transportation Engineering*, 131 (5): 345-351.
- Shankar, V., Mannering, F. dan Barfield, W. 1995. *Effect Of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies*. *Accident Analysis and Prevention*, 27 (3): 371-389.
- Shankar, V., Mannering, F. dan Barfield, W. 1996. *Statistical Analysis of Accident Severity on Rural Freeways*. *Accident Analysis and Prevention*, 28 (3): 391-401.
- Tjahjono, T. 2007. *Modelling Traffic Accident Occurrence on Indonesian Toll Roads*. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation studies*, 7: 2580-2595.

